

## Efecto de la temperatura de carbonización en magnetita recubierta con xerogel de carbono

Edgar Fajardo-Puerto<sup>1\*</sup>, Abdelhakim Elmouwahidi<sup>1</sup>, Esther Bailón-García<sup>1</sup>, María Pérez-Cadenas<sup>2</sup>, Francisco Carrasco-Marín<sup>1</sup>, Agustín F. Pérez-Cadenas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Materiales Polifuncionales Basados en Carbono (UGR-Carbon), Dpto. Química Inorgánica-Unidad de Excelencia Química Aplicada a Biomedicina y Medioambiente-Universidad de Granada (UEQ-UGR), ES18071-Granada, España.

<sup>2</sup>Dpto. Química Inorgánica y Técnica, Facultad de Ciencias, UNED, Av. De Esparta s/n, Las Rozas de Madrid (Madrid), 28232, España.

edgarf1994@correo.ugr.es

Palabras clave: xerogel, Fenton, Remediación ambiental.

### Introducción

El uso generalizado de antibióticos para el tratamiento de diferentes enfermedades ha generado la presencia de estos en aguas residuales, generando una problemática de interés global debido a la formación de bacterias resistentes a los antibióticos. La reacción Fenton ha sido considerada eficiente para la remoción de antibióticos presentes en aguas residuales, debido a la generación in situ de radicales hidroxilo ( $\cdot\text{OH}$ ) [1]. Sin embargo, una de las principales limitantes que tiene por superar la reacción Fenton clásica es la generación de lodos residuales con precipitados de  $\text{Fe}^{+3}$ , por lo cual se ha planteado el Fenton heterogéneo, donde las sales de  $\text{Fe}^{+2}$  son remplazados por materiales sólidos basados en hierro [2]. Por tanto, en el presente trabajo utilizamos magnetita como catalizador heterogéneo Fenton, el cual se recubrió con xerogel de carbono para evitar la lixiviación del metal y por ende pérdida de eficiencia del material, además de evaluar la temperatura de carbonización (400, 600 y 900°C) del catalizador recubierto a fin de obtener carbono como recubrimiento sin llegar a alterar la estructura de la magnetita.

### Experimental

La magnetita fue sintetizada mediante co-precipitación química de  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ . El recubrimiento de carbono se realizó mediante una técnica de emulsión inversa, donde soluciones con diferente polaridad, permitieron que resorcinol y formaldehído polimerizaran en fina capa dejando en su interior las partículas de óxido de hierro. Finalmente, las muestras se carbonizaron a 400, 600 y 900°C ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -Xero-T, siendo T la temperatura de carbonización.  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , y SC son las muestras de magnetita sin recubrir y recubiertas, respectivamente, ambas sin tratamiento térmico posterior. Los materiales caracterizaron mediante las técnicas de TGA, DRX y RAMAN. La reacción Fenton se llevó a cabo en un vaso de precipitado, haciendo uso de tetraciclina (TC) como contaminante de referencia con una concentración inicial de 50 ppm, a pH de 3, y una concentración de catalizador de 25 ppm.

### Resultados y discusión

Mediante DRX se puso de manifiesto que el incremento de la temperatura de carbonización, modificó los estados de valencia del hierro contribuyendo en la formación de hierro metálico en la muestra  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -Xero-900. La Figura 1 muestra los espectros RAMAN de las muestras carbonizadas, donde se observa una mayor relación ID/IG con el aumento de la temperatura de carbonización, lo que indica un mayor desarrollo de la estructura carbonosa lógica con el aumento de la temperatura de carbonización.

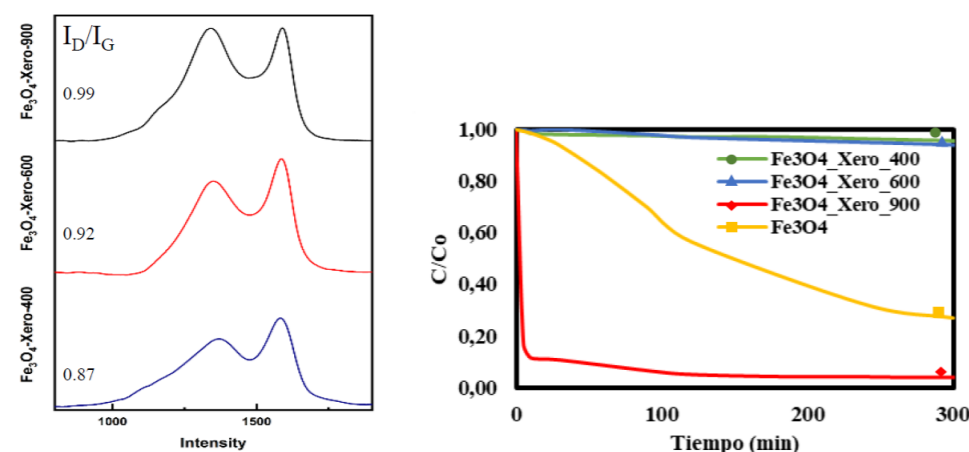


Figura 1. Espectroscopia RAMAN, y degradación de tetraciclina.

De la degradación de tetraciclina catalizada por los materiales sintetizados, se deduce que cuando el recubrimiento de la fase metálica es compacto, y poco poroso, la actividad es prácticamente nula debido a la poca accesibilidad de las fases de hierro al medio de reacción. Sin embargo, a 900°C donde la carbonización es completa, junto con un desarrollo adecuado de la porosidad, se observa un espectacular incremento de la capacidad de degradación de tetraciclina, muy superior incluso a la de la muestra  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  no tratada térmicamente.

### Conclusiones

En las muestras recubiertas de xerogel de carbono, la temperatura de carbonización afecta directamente a la transformación de la fase metálica a partir de magnetita, pudiendo formarse hasta hierro metálico. Simultáneamente, se favorece el desarrollo de porosidad en el recubrimiento carbonoso facilitando así la accesibilidad de la fase catalítica a la disolución de tetraciclina. Por tanto, se ha conseguido un catalizador tipo Fenton doblemente mejorado: por un lado incrementando su capacidad catalítica frente a la tetraciclina, y por otro mejorando el control de la lixiviación de la fase metálica gracias al recubrimiento de carbono desarrollado.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a MCIN/AEI/10.13039/501100011033/ y "FEDER Una manera de hacer Europa" el proyecto PID2021-127803OB-I00.

### Referencias

- [1] E. Fajardo-Puerto, A. Elmouwahidi, E. Bailón-García, A.F. Pérez-Cadenas, F. Carrasco-Marín. From Fenton and ORR 2e--Type Catalysts to Bifunctional Electrodes for Environmental Remediation Using the Electro-Fenton Process. *Catalysts*, 2023; 13: 674.
- [2] J.H. Ramirez, F.J. Maldonado-Hódar, A.F. Pérez-Cadenas, C. Moreno-Castilla, C.A. Costa, L.M. Madeira, Azo-dye Orange II degradation by heterogeneous Fenton-like reaction using carbon-Fe catalysts, *Applied Catalysis B: Environmental*, 2007; 75: 312-323